

**PREDICCIÓN DE FALLAS POR ESCALONAMIENTO EN LAS  
ESTRUCTURAS PAVIMENTO RÍGIDO PROPUESTAS DENTRO DEL  
MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA BAJOS,  
MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRANSITO DEL INVIAS, EMPLEANDO  
EL MODELOS DE DETERIORO DE PAVIMENTOS RIGIDOS NAPCOM.**



Autor:

Ing. JAVIER ENRIQUE MARTINEZ OLIVEROS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
2018

# **PREDICCIÓN DE FALLAS POR ESCALONAMIENTO EN LAS ESTRUCTURAS PAVIMENTO RÍGIDO PROPUESTAS DENTRO DEL MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA BAJOS, MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRANSITO DEL INVIAS, EMPLEANDO EL MODELOS DE DETERIORO DE PAVIMENTOS RIGIDOS NAPCOM.**

**PREDICTION OF FAILURES BY STAGING IN THE RIGID PAVEMENT STRUCTURES PROPOSED WITHIN THE MANUAL DESIGN OF CONCRETE PAVEMENTS FOR LOW, MEDIUM AND HIGH VOLUMES OF TRANSIT OF THE INVIAS, USING THE MODELS OF DETERIORATION OF RAPID PAVEMENTS NAPCOM.**

Javier Enrique Martínez Oliveros  
Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Especialización en Ingeniería de Pavimentos.  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá D.C. Colombia.  
jamtzol@hotmail.com

## **RESUMEN**

El presente artículo, se lleva a cabo un análisis de predicción de fallas por escalonamiento de la estructura de pavimento rígido propuestas en el manual de diseño de pavimento de concretos del INVIAS, para un tránsito categoría T5, subrasante tipo S2, módulo de rotura del concreto Mr4, transferencia de carga con dovelas sin confinamiento lateral, y material de soporte subrasante natural mediante el uso del modelo de predicción de deterioro de pavimentos rígidos NAPCOM, realizando un análisis de sensibilidad mediante la variación de valores de diámetros de dovelas y CBR de la subrasante. El siguiente análisis se justifica en la determinación del comportamiento en su vida útil a las fallas por escalonamiento debido a que la evaluación de las causas y deterioros de las estructuras esta por fuera del alcance del presente manual.

**Palabra claves:** pavimento; Transferencia de carga; escalonamiento; erodabilidad, dovelas.

## ABSTRACT

In this article, a failure prediction analysis is carried out by staggering the rigid pavement structure proposed in the concrete pavement design manual of INVIAS, for a transit category T5, subgrade type S2, concrete breakage module Mr4, load transfer with voussoirs without lateral confinement, and natural subgrade support material through the use of the NAPCOM rigid pavement deterioration prediction model, carrying out a sensitivity analysis by varying the diameter values of voussoirs and CBR of the subgrade. The following analysis is justified in the determination of the behavior in its useful life to the faults by staggering because the evaluation of the causes and deterioration of the structures is beyond the scope of this manual.

**Keyword:** pavement; Load transfer; staggering; erodability, voussoirs.

## INTRODUCCIÓN.

El objetivo de un sistema de gestión, es la administración eficiente de un pavimento o de un sistema vial, garantizando un adecuado nivel de servicio, durante su periodo de operación, abarcando todas las actividades de planeación, diseño, construcción, evaluación, mantenimiento y rehabilitación de un segmento de pavimento. La evaluación a fallas en los pavimentos nos permite obtener información a partir de mediciones directas de la condición y estado del mismo, con el objetivo de mejorar el proceso de toma de decisiones con respecto a las intervenciones de mantenimiento periódico y rutinario [6].

Los deterioros en la estructuras de pavimentos de concreto a lo largo de su vida útil son producto de la acción constante de aplicación de cargas, deficiencias en el mantenimiento, mala calidad de los materiales empleados, mala ejecución de proceso constructivo, deficiencias en su estructura de soporte y variación del clima, estas condiciones afectan los niveles de servicio de las vías como la comodidad, seguridad y el soporte de carga de los pavimentos. La evaluación de deterioros y causas que generan las fallas en los pavimentos son el insumo principal para el diseño de mantenimientos y rehabilitación de las estructuras que permitan el mejoramiento de su nivel de servicio en condiciones aceptables de comodidad, seguridad, y también alargar su periodo de vida.

El uso de modelos de predicción de deterioros en los pavimentos, se justifica porque nos permite determinar de forma indirecta el deterioro progresivo año a año de los pavimentos, estimar el costo de mantenimiento y rehabilitación en los pavimentos y determinar la alternativa de rehabilitación [1].

Por lo cual se plantea un análisis de fallas por escalonamiento mediante el uso del modelo de predicción de daño a escalonamiento NAPCOM, de las

estructuras de pavimentos en concreto propuestas en el manual de diseño del INVIAS y evaluar cómo se comportan estas a lo largo de su vida útil. La Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento.

## **PROBLEMA**

Las estructuras de pavimentos en concreto propuestos en el manual de diseño de pavimentos en concreto de INVIAS, no determina su desempeño a fallas por escalonamiento en las juntas transversales y longitudinales entre losas en su periodo de diseño.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cómo determinar el comportamiento a fallas por escalonamiento de las estructuras de pavimento rígidos propuestas en el manual de diseño de pavimentos de concreto de INVIAS en su periodo de diseño?

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento a falla por escalonamiento en las estructuras propuestas por el manual de diseño de pavimentos en concreto de INVIAS, para niveles de tránsito T5, subrasante tipo S2, módulo de rotura del concreto Mr4, transferencia de carga con dovelas sin confinamiento lateral, y material de soporte subrasante natural, empleando el modelo de predicción de escalonamiento NAPCOM

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Llevar a cabo un análisis de sensibilidad a fallas por escalonamiento en las estructuras de pavimento para diferentes diámetros de dovelas y diferentes valores de CBR de la subrasante.
- Pronosticar el porcentaje de daños por escalonamiento en la estructura de pavimentos durante su periodo de análisis.
- Revisar las recomendaciones de mantenimiento presentadas dentro del manual de diseño de pavimentos de concretos del INVIAS con los resultados obtenidos en el modelo de falla por escalonamiento.

## **1. PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyados sobre una subrasante o una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase o base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. Ver figura 1

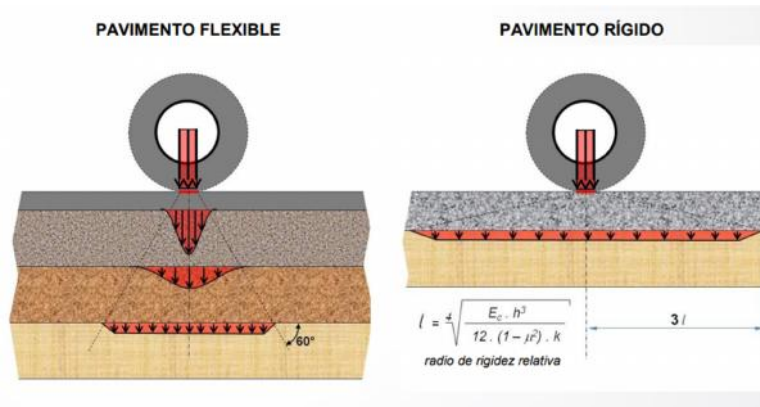
### **1.1 FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO.**

#### **1.1.1 La subbase.**

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de la junta licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

#### **1.1.2 Losa de concreto.**

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son proporcionar una superficie uniforme, estable al tránsito, de textura conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito, más la función estructural de soportar y transmitir en niveles adecuado los esfuerzos que le apliquen [1].



**Figura 1.** Transmisión de cargas sobre los pavimentos.  
**Fuente:** presentación conferencia sobre Pavimentos y Pisos Industriales Ing. Edgardo BECKER.

## 1.2 DISEÑO DE ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.

La estructura de los pavimentos de está diseñada como losas de concreto hidráulico, apoyadas sobre la subrasante o una capa de subbase, unidas por barras de transferencia de carga o amarre y bermas de confinamiento lateral [2]. Ver figura 2

### 1.2.1 Datos de entrada.

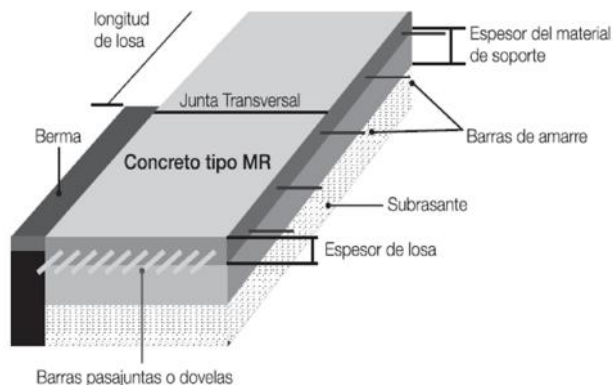
- Tránsito.
- Confiabilidad.
- Módulo de rotura.
- Transferencia.
- Módulo de reacción de la subrasante.
- Drenaje.

### 1.2.2 Resultado del diseño.

- Espesores de capa.
- Espesor de losa.

### 1.2.3 Diseño complementario.

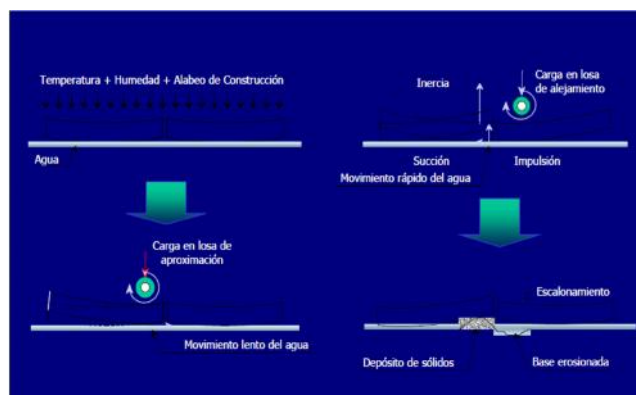
- Diseño geométrico.
- Modulación de juntas.
- Sistemas de transferencia.



**Figura 2.** Esquema representativo de un pavimento de concreto.  
**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto del INVIAS.

### 1.3 FALLAS POR ESCALONAMIENTO EN LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Es la diferencia de nivel entre los bordes de una junta transversal o longitudinal entre dos placas de concreto, el escalonamiento es causado por la pérdida de finos bajo una losa y el correspondiente incremento de estos mismos finos en las losas contiguas [3]. Ver figura 3



**Figura 3.** Esquema desarrollo del escalonamiento.  
**Fuente:** Rehabilitación de pavimentos de concreto “caracterización de fallas” INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO (ICPC).

El escalonamiento en pavimentos rígidos es el resultado de deflexiones excesivas en los bordes de las losas y esquinas que causan erosión y bombeo de material fino de la estructura de soporte “subrasante, subbase o base” en una losa cargada. La tasa de progresión de fallas por escalonamiento aumenta significativamente cuando el pavimento rígido tiene un bajo desempeño en la transferencia de cargas a través de las juntas y grietas, cargas pesadas sobre el eje, agua debajo de las losas de pavimento rígido, y erodabilidad de la base de soporte [4].

Las siguientes condiciones deben existir para que ocurra la falla por escalonamiento [4].

- Deflexiones diferenciales significativas entre losas adyacentes que imparten energía a los materiales del pavimento subyacente. Estas deflexiones causan el movimiento del material saturado del pavimento subyacente a medida que se restablece el equilibrio, dando como resultado la erosión y el bombeo. La energía diferencial a través de la junta o grieta se amplifica por varios factores, como cargas pesadas de los ejes y baja transferencia de carga.
- Materiales de pavimento subyacentes que son erodables. Un material inestable o débilmente estabilizado con un alto porcentaje de finos es un candidato principal para la erodación.
- La presencia de agua libre debajo en la estructura del pavimento rígido.

## **2. MODELO DE FALLA POR ESCALONAMIENTO FHWA NAPCOM.**

Estudios llevados a cabo por FHWA Nationwide Pavement Cost Model (NAPCOM) y completados por en 1997 por Owusu-Antwi et al. Desarrollo el siguiente modelo de fallas mecánico – empíricas para pavimento de concreto simplemente articulado con dovelas y sin dovelas [4].

El modelo NAPCOM ilustra que la presencia de pasadores en las estructuras de pavimento rígido reduce significativamente las fallas por escalonamiento, al reducir el diferencial de energía elástica la subrasante. También ilustra que el uso de bases estabilizadas y subbase rígidas disminuyen las fallas por escalonamiento [4].

### **2.1 PREDICCIÓN DE FALLAS POR ESCALONAMIENTO MODELO NAPCOM.**

- Cálculo de número de cargas admisibles.
- Cálculo de daño por fatiga.
- Cálculo del daño acumulado.
- Predicción del escalonamiento.

#### **2.1.1 Cálculo de número de cargas admisibles [6]. Ver figura 4,**

$$DE=k(W_L - W_{LU})(W_L + W_{LU}) \quad (1)$$



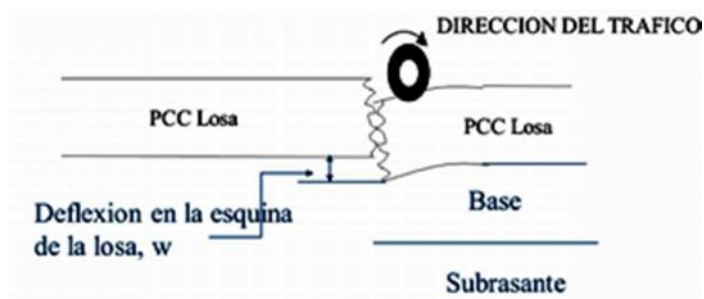
Dónde:

DE: energía de deformación impuesta por un eje cargado. Ecuación (1)

K: módulo de reacción de la subrasante.

$W_L$ : deflexión en la esquina de la losa cargada.

$W_{UL}$ : deflexión en la esquina de la losa no cargada.



**Figura 4.** Esquema deflexiones en la esquina de la losa de concreto.

**Fuente:** Presentaciones modulo especialización Ingeniería de Pavimentos UMNG, evaluación rehabilitación y mantenimiento de pavimentos de concreto, Ing. José Luis Mercado.

$$\log N = 0,78 - \log(EROD) - 0,93 * (1 + 0,4PERM * (1 - Dowel)) * \log(DE * (1 - 1,43Dow_{dia} + 0,51Dow_{dia}^2)) \quad (2)$$

Dónde:

N: número de repeticiones de carga admisibles. Ecuación (2)

EROD: factor de erodabilidad de la base. Tabla 1

PERM: permeabilidad de la base.

Dowel: 1 (si son usadas como transferencia de carga).

$Dow_{dia}$ : diámetro de las dovelas.

DE: energía de deformación diferencial.

**Tabla 1.** Potencial de erodabilidad de base y subbase.

Clase de erodabilidad	Descripción
A (extremamente resistente)	Base en concreto Base asfáltica
B (resistente a la erosión)	Base tratada con cemento (5%) Base tratada con asfalto (4%)
C (resistente a la erosión)	Base tratada con cemento (3,5%) Base tratada con asfalto (3%)
D (erodable)	Material granular tratado en el sitio (<2,5%)
E (muy erodable)	Material granular no tratado

**Fuente:** Guías módulo de evaluación, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos rígido especialización ingeniería de pavimento Universidad Militar Nueva Granada (UMNG) Ing. José Luis Mercado

### 2.1.2 Cálculo de daño por fatiga [6]. Ecuación (3)

Se calcula por la ley de Miner Law.

$$DAMAGE = \frac{n_i}{N_i} \quad (3)$$

n = número de cargas aplicadas.

N = número de cargas admisibles.

### 2.1.3 Cálculo del escalonamiento [6].

$$Fault = DAMAGE^{0.275} * (0.1741 - 0.00099 * DAYS90 + 0.001082 * PRECIP) \quad (4)$$

Dónde:

Fault: escalonamiento transversal en pulgadas. Ecuación (4)

DAMAGE: daño en el pavimento.

DAYS90 = número de días en el año con temperatura por encima de 90°F.

PRECIP = precipitación media anual.

### 2.1.4 Variables de entrada del modelo. Tabla 2

Tabla 2. Variables de entrada del modelo NAPCOM

VARIABLE	UNIDAD
Periodo de diseño	años
Espesor de losas	in
Espaciamiento de juntas	ft
Transferencia de carga	Diámetro de la dovela (in)
Distancia de la rueda desde el borde	in
Módulo de elasticidad del concreto (E)	psi
Relación de poisson ( $\mu$ )	0.15
Modulo K de la subrasante	psi/in
Tipo de base	Potencial de erodabilidad
Tránsito ESALS	Ejes 8.2ton
Promedio cantidad de días > 90°F	días
Precipitación media anual	in

**Fuente:** Guías módulo de evaluación, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos rígido especialización ingeniería de pavimento Universidad Militar Nueva Granada (UMNG) Ing. José Luis Mercado

## 2.2 VARIABLES DE DISEÑO MANUAL DE PAVIMENTOS EN CONCRETO DEL INVIAS.

### 2.2.1 Tránsito y periodo de diseño (20 años). Tabla 3

**Tabla 3.** Categoría de tránsito para la selección de espesores.

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T0	(Vt)	0 a 200	< 1'000.000
T1	(Vs)-(Mo A)- (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

En la Tabla las siglas tienen el siguiente significado:	M: Medias
Vt: Vía terciaria	A: Anchas
Vs: Vía secundaria	CC: Carreteras de 2 direcciones
Vp: Vía principal	MC: Carreteras multicarriles
E: Estrechas	AP: Autopistas

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS.

### 2.2.2 Clasificación de la subrasante. Tabla 4

**Tabla 4.** Clasificación de la subrasante de acuerdo a su resistencia.

Clase o tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm <sup>2</sup> )
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 - 500
S3	5 - 10	500 - 1.000
S4	10 - 20	1.000 - 2.000
S5	> 20	> 2.000

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS.

### 2.2.3 Clasificación material de soporte. Tabla 5

**Tabla 5.** Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto.

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS.

## 2.2.4 Selección tipo de pasador. Tabla 6

**Tabla 6.** Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga.

Espesor del pavimento	diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	pulgada	mm	mm
0 - 100	13	1/2"	250	300
110 - 130	16	5/8"	300	300
140 - 150	19	3/4"	350	300
160 - 180	22	7/8"	350	300
190 - 200	25	1"	350	300
210 - 230	29	1 1/8"	400	300
240 - 250	32	1 1/4"	450	300
260 - 280	35	1 3/8"	450	300
290 - 300	38	1 1/2"	500	300

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS.

## 2.2.5 Valores de módulos de rotura del concreto. Tabla 7

**Tabla 7.** Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura).

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS.

## 2.2.6 Juntas

En principio las losas tendrán el ancho del carril y su longitud debe estar comprendida entre 3,60 y 5,0 m y la relación entre el largo y ancho de las losas debe oscilar entre 1 y 1,3 [5].

## 2.3 EVALUACIÓN DEL ESCALONAMIENTO USANDO EL MODELO DE PREDICCIÓN NAPCOM.

La evaluación de fallas por escalonamiento de las estructuras de pavimentos rígidos, se pueden predecir mediante el uso de modelos propuestos en varias investigaciones, como el llevado a cabo por FHWA Nationwide Pavement Cost Model (NAPCOM) y completados en 1997 por Owusu-Antwi et al, prediciendo el desempeño a este tipo de fallas que afectan la serviciabilidad del pavimento [4]. El manual de diseño de pavimentos de concreto de INVIAS presenta un catálogo de estructuras de pavimentos las cuales se diseñaron de acuerdo a las diferentes variables que influyen en su comportamiento y, por

ende, en la determinación de los espesores de las capas que lo constituyen, las características que hacen que este pavimento gane o pierda competitividad frente a otras alternativas de pavimentación y una guía para escoger las dimensiones de las losas y las propiedades del concreto [4].

Realizando análisis de sensibilidad del modelo NAPCOM, a diferentes diámetros de dovelas como mecanismo de transferencia de carga y diferentes valores de módulo de reacción de la subrasante, evaluamos el desempeño a fallas por escalonamiento de la estructura de pavimento rígido recomendada por el manual, para una categoría de tránsito T5 (25.000.000 de ejes equivalente de 8.2 Ton), una clasificación de subrasante tipo S2, valor de módulo de rotura  $MR=45\text{kg/cm}^2$ , material de soporte tipo subrasante natural y dovelas como mecanismo de transferencia de carga sin bermas. Tabla 8, Tabla 9

**Tabla 8.** Espesores de losas de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T5 como factor principal.

		T5																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	no D y B	no D y no B	D y B	D y no B	no D y B	no D y no B	D y B	D y no B	no D y B	no D y no B	D y B	D y no B	no D y B	no D y no B	D y B	D y no B	no D y B	no D y no B
SN	MR1	30	-	-	-	29	-	-	-	27	-	30	-	26	30	29	-	25	29	29	-
	MR2	29	-	-	-	28	-	-	-	26	30	30	-	25	29	29	-	24	28	29	-
	MR3	28	-	-	-	27	-	-	-	25	29	30	-	24	28	29	-	24	27	29	-
	MR4	27	-	-	-	26	30	-	-	24	27	30	-	23	26	29	-	23	26	29	-
BG	MR1	29	-	-	-	28	-	-	-	26	30	29	-	25	29	29	-	25	29	28	-
	MR2	28	-	-	-	27	-	-	-	25	29	29	-	25	28	29	-	24	28	28	-
	MR3	27	-	-	-	26	-	-	-	24	28	29	-	24	27	29	-	23	27	28	-
	MR4	25	29	-	-	25	29	-	-	24	27	29	-	23	26	29	-	23	26	28	-
BEC	MR1	25	29	28	-	25	28	28	30	23	26	27	29	23	26	26	29	22	25	26	28
	MR2	24	28	28	-	24	27	28	30	22	25	27	29	22	25	26	29	21	24	26	28
	MR3	23	27	28	-	23	26	28	30	22	25	27	29	21	25	26	29	21	24	26	28
	MR4	23	25	28	-	23	25	28	30	22	25	27	29	21	25	26	29	21	24	26	28

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS.

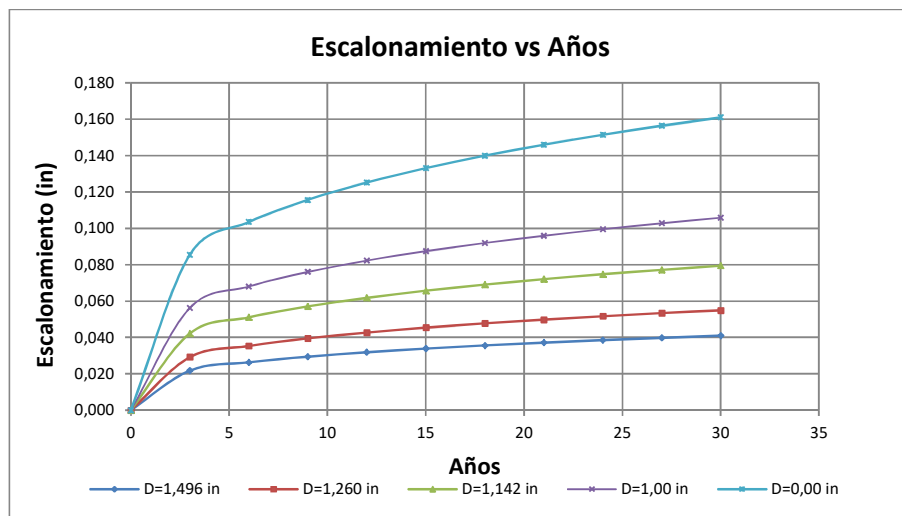
**Tabla 9** Valores de entrada al modelo NAPCOM

DATOS DE ENTRADA AL MODELO		
VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Periodo de diseño o análisis	30	años
Espesor de losa	11,81	in
Espaciamiento de juntas	15,35	ft
Diámetro de la dovela	1,496	in
Distancia de la rueda desde el borde	12	in
Módulo de elasticidad del concreto	4217000	psi
Relación de poisson	0,1	(-)
módulo de reacción de la subrasante K	63	psi/in
Erodabilidad de la base	5	(-)
permeabilidad de la base	1	(-)
transito ESAL/años	1250000	ejes 8.2 Ton
número de días en el año con temperaturas > 90 °F	0	días
precipitación media anual	34	in

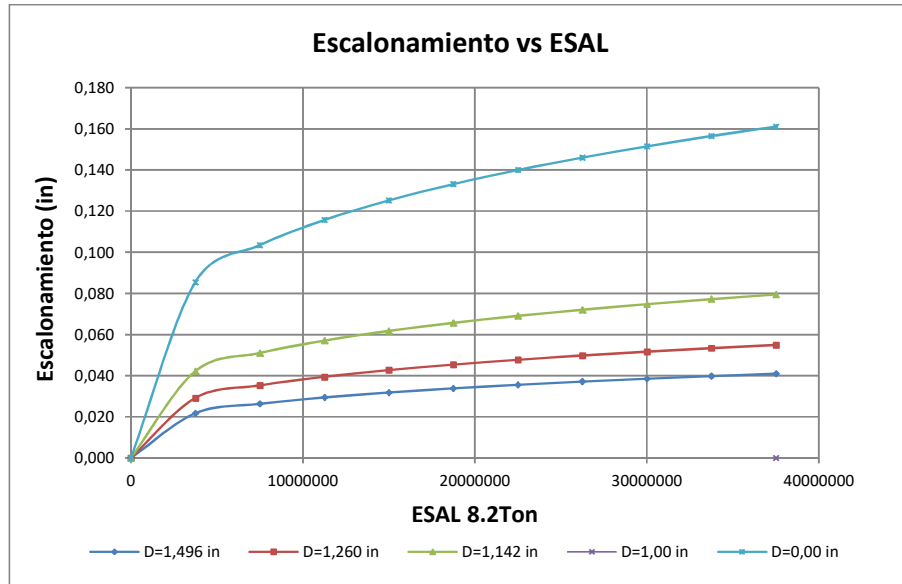
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.1 Resultados análisis de sensibilidad para diferentes diámetros de dovelas.

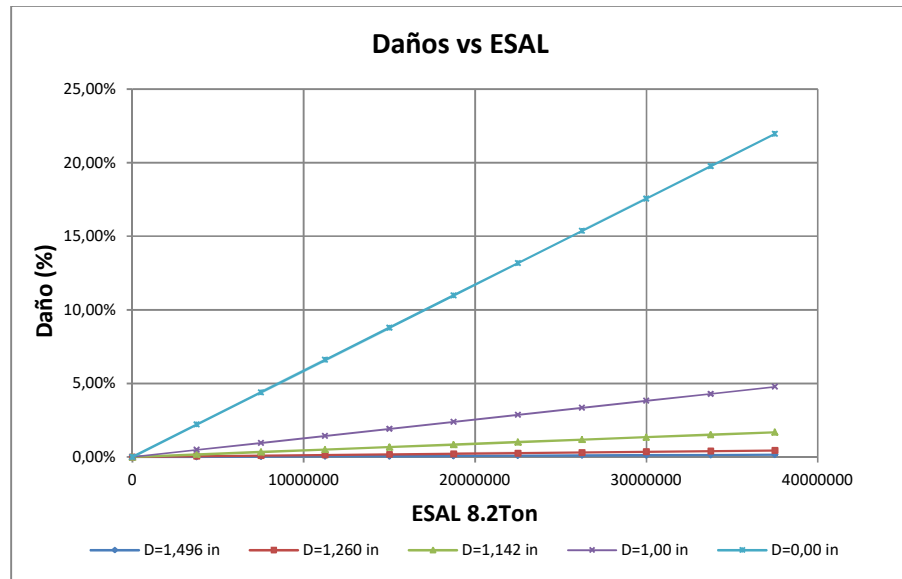
El análisis de sensibilidad a falla por escalonamiento se determinó variando los diámetros de las dovela, registrando apreciables disminuciones en el cálculo del escalonamiento y para un análisis sin dovela obtenemos un escalonamiento al final del periodo de análisis de 4,1mm para una severidad baja y valores de daño de 4,77% para dovelas de 1 pulgada de diámetro, 0,15% para dovelas de 1,496 pulgadas de diámetro. A continuación se presentan las siguientes figuras: Escalonamiento (in) vs Años Figura 5; Escalonamiento (in) vs ESAL (8.2Ton) Figura 6 y Daños (%) vs ESAL (8.2Ton) Figura 7.

**Figura 5:** Cálculo del escalonamiento vs años para diferentes diámetros de dovelas

Fuente: Elaboración propia



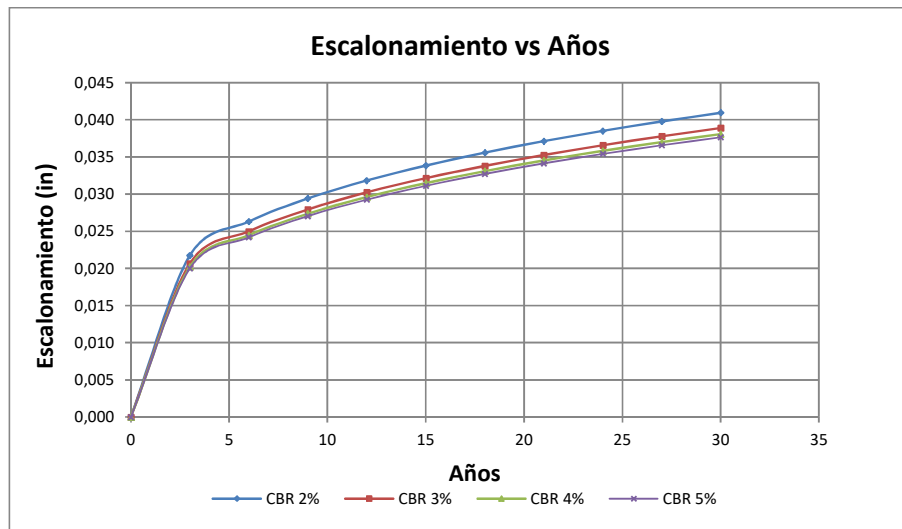
**Figura 6:** Calculo del escalonamiento vs ESAL para diferentes diámetros de dovelas  
**Fuente:** Elaboración propia



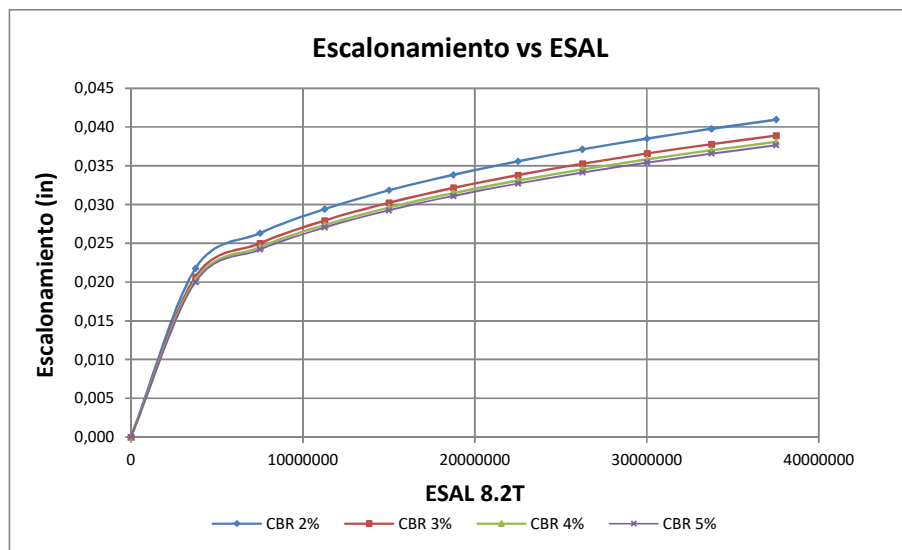
**Figura 7:** Calculo del daños vs ESAL para diferentes diámetros de dovelas  
**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.2 Resultados análisis de sensibilidad para diferentes valores de CBR de subrasante.

El análisis de sensibilidad a falla por escalonamiento, realizando variaciones en los valores de CBR de la subrasante no presenta mayores diferencias, por lo que se puede concluir que el valor de módulo de reacción de la subrasante no influye en gran proporción en el efecto del escalonamiento de los pavimentos. Presentando a continuación las siguientes figuras que nos ilustran su comportamiento: Escalonamiento (in) vs Años Figura 8; Escalonamiento (in) vs ESAL (8.2Ton) Figura 9 y Daños (%) vs ESAL (8.2Ton) Figura 10.

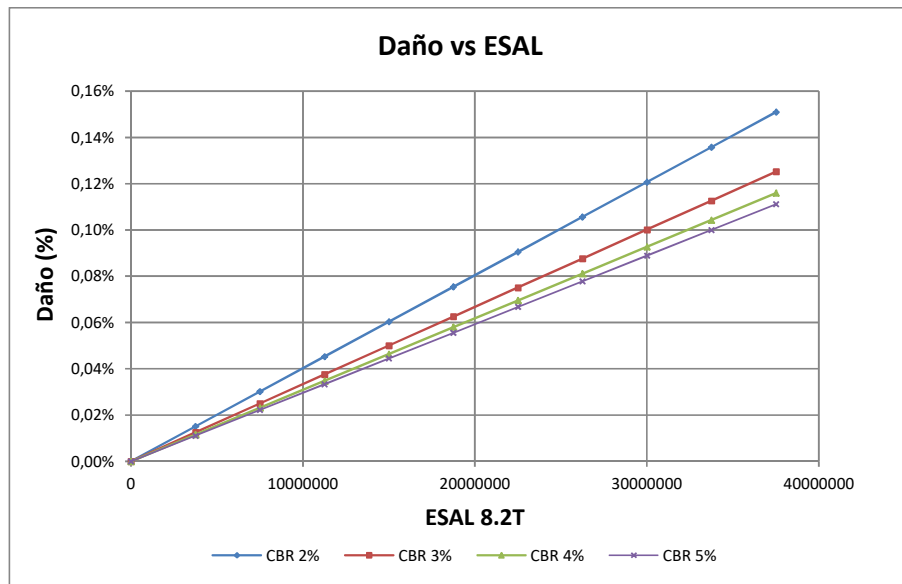


**Figura 8:** Cálculo del escalonamiento vs años para diferentes valores de CBR.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 9:** Cálculo del escalonamiento vs ESAL para diferentes valores de CBR.  
**Fuente:** Elaboración propia





**Figura 10:** Cálculo del daños vs ESAL para diferentes valores de CBR.  
**Fuente:** Elaboración propia

La evaluación de fallas en los pavimentos nos permite obtener información a partir de mediciones directas de la condición y estado del mismo, con el objetivo de mejorar el proceso de toma de decisiones con respecto a las intervenciones de mantenimiento periódico y rutinario. También en los sistemas de gestión de pavimentos se hace uso de modelos de predicción de fallas en los pavimentos rígidos, permitiendo modelar su deterioro en el futuro. El modelo de predicción de fallas por escalonamiento NAPCOM fue desarrollado en los Estados Unidos, país que presenta unas condiciones climática y de formación de suelos distinta al nuestro, por lo cual se deben llevar a cabo trabajos de investigación y calibrarlo a nuestra condiciones de clima y características de suelo. [6]

Que los valores obtenidos son de unas severidades bajas y comparadas con las recomendaciones de mantenimiento del manual de diseño de pavimentos de concreto estos recomienda realizar trabajos de limpieza, conservación, reparación y reconstrucción del pavimento que sean necesarias para mantener, las condiciones de la vía en buen estado

La frecuencia de las intervenciones y las cantidades de obra a ejecutar podrán variar de acuerdo con las circunstancias climáticas y otras características, pero siempre deberán cumplir con las especificaciones y parámetros técnicos exigidos.

El mantenimiento vial incluye acciones rutinarias de limpieza de bermas y derecho de vía, de señalización vertical y horizontal, de mantenimiento de los sistemas de drenaje y en general de manejo del agua y en el caso de los pavimentos de concreto, son necesarias las actividades de sellado de juntas y de fisuras y en ciertas ocasiones se puede llegar a la realización de reparaciones superficiales y profundas. [5]

### **3. CONCLUSIONES.**

Se concluye que el uso de barras como transferencia de carga entre losas de pavimento de concreto disminuye considerablemente los daños por escalonamiento del en la estructura del pavimento, los cuales se le debe estar realizado actividades periódicas de mantenimiento de limpieza y sellado de junta, al igual que mantenimiento de los sistemas de drenajes debía a que la filtración de aguas lluvia por las juntas ocasionan el efecto de bombeo y aparición de grietas y escalonamiento de la vía.

Que el análisis de sensibilidad a fallas por escalonamiento está asociado principalmente a deficiencias en la transferencia de cargas pesadas entre losas de pavimento y al potencial de erodabilidad del material de base de soporte del pavimento el cual también está asociado a la infiltración de aguas lluvias a esta estructura.

Se concluye que el porcentaje de daños para la estructura de pavimento evaluada sin transferencia de carga es de 21,95% y con transferencia de carga (dovelas) de 1,5 pulgadas de diámetro es de 0,15%, obteniendo una diferencia considerable de un 21% aproximadamente. Y que para análisis de sensibilidad en la variación del CBR de la subrasante no presenta cambios significativos.

Se concluye que la falta de mantenimiento en los pavimentos, están asociadas al deterioro de los pavimentos, y que las frecuencias y cantidades de mantenimiento están asociadas más a las condiciones climáticas de cada proyecto.

## **BIBLIOGRAFIA.**

### **Libro.**

[1] Ing. Alfonso Montejo, Fonseca, INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERA. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones, 2002.

### **Conferencia.**

[2]. Diego A. Jaramillo Porto Asocreto Colombia, “Desempeño y conservación de pavimentos de concreto” 7° Congreso Iberoamericano de Pavimentos de Concreto, Lima, Perú, 2016.

### **Presentaciones diapositivas.**

[3] INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO (ICPC), Rehabilitación de pavimentos de concreto, caracterización de fallas, Colombia.

### **Libro.**

[4]. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), GUIDE FOR MECHANISTIC-EMPIRICAL DESIGN OF NEW AND REHABILITATED PAVEMENT STRUCTURES, APPENDIX JJ: TRANSVERSE JOINT FAULTING MODEL. Illinois, U.S.A. ARA, Inc., ERES Division 505 West University Avenue Champaign, Illinois, 2003.

### **Documento técnico.**

[5] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS), INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO (ICPC), manual de diseño de pavimentos de concreto para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, Medellín, Colombia ICPC, 2008.

### **Presentaciones diapositivas.**

[6] Ing. José Luis Mercado, Guías módulo de evaluación, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos rígido especialización ingeniería de pavimento Universidad Militar Nueva Granada (UMNG), Bogotá, Colombia 2017.